

Rancang Bangun Pengendalian pH Pada *Inline Flash Mixing* Menggunakan Metode *Neural Network Controller*

Warin Gusena dan Hendra Cordova

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: hcordova@ep.its.ac.id

Abstrak—Proses pengendalian pH memiliki peranan penting dalam menentukan kualitas produk contoh pada *water treatment*. Dampak lingkungan akibat nilai pH yang asam menyebabkan pencemaran dan diperlukan upaya dalam merubah nilai pH pada daerah linier dua yang mana daerah ini merupakan daerah sensitif bagi netralisasi pH. Untuk mengatasi hal ini dilakukan pengontrolan pH menggunakan *Neural Network controller* yang telah mengalami pelatihan. Pelatihan dilakukan dengan mendapatkan keluaran DAQ sebagai target yang dikuatkan oleh motor driver untuk mendapatkan pH yang diinginkan. Proses pengendalian pH ini dilakukan pada plant *Inline Flash Mixing* yang mana tempat berlangsungnya pengendalian terdapat dalam pipa. Hasil pelatihan untuk target pH 7 menghasilkan iterasi 339 *epoch*, MSE sebesar 10^{-5} dan regresi keluaran JST dengan rentang 0,761–0,733. Pada pelatihan target pH 6 didapatkan lama iterasi sebanyak 262 *epoch* dengan regresi dalam rentang 0,606–0,624. Sedangkan pada pH 11, didapat lama iterasi sebanyak 4382 *epoch* dengan rentang regresi 0,778–0,788. Respon sistem pengendalian pH di *Inline Flash Mixing* ini berlangsung cepat dikarenakan controller mengeluarkan sinyal kontrol yang menghasilkan *manipulated variabel* berupa debit larutan basa sehingga cepat mencapai set point. Uji *close loop* pada pH 6 menghasilkan *Maximum overshoot* (Mp) sebesar 4,67%, *error steady state* (Ess) sebesar 2,29%, dan *Settling time* (Ts) sebesar 31 detik. Pada *set point* 7, Mp sebesar 19,7 %, Ess sebesar 6,3%, dan Ts selama 33 detik. Pada *set point* 11 menghasilkan Mp sebesar 4,45%, Ess sebesar 1,83%, dan Ts sebesar 12 detik.

Kata Kunci—Pengendalian pH, *Inline Flash Mixing*, *Neural Network Controller*, non-linear.

I. PENDAHULUAN

PENGENDALIAN pH memegang peranan penting dalam dunia industri dalam menentukan kualitas proses produknya. Salah satunya dalam pengolahan limbah industri dimana menurut peraturan menteri negara lingkungan hidup nomor 03 tahun 2010, batas pH limbah industri sebesar 6–9 [1]. Proses Pengendalian pH yang non-linear tidak dapat dilakukan dengan pengendali berbasis linear [2]. Ketidaklinieran ini didasarkan pada kurva titrasi asam dan basa sehingga pengontrolan daerah sensitif tergolong sulit dikendalikan. Sedangkan pengendalian pH limbah industri termasuk di daerah sensitif tersebut. Untuk mengatasi ketidaklinieran pada pengendalian pH, diterapkan konsep *neural-network Controller* dengan uji eksperimen hubungan nilai sinyal kontrol dan pH akhir campuran.

Terdapat dua jenis *plant* pengendalian pH yang digunakan,

yaitu CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*) dan *Inline Flash Mixing*. CSTR berbentuk tangki sebagai *plant*-nya dan menggunakan pengaduk (*stirrer*) untuk menyempurnakan pencampuran larutan. Sedangkan, *Inline Flash Mixing* berbentuk pipa yang teraliri larutan asam dan diinjeksi oleh larutan basa yang kemudian bercampur dalam pipa tersebut. Proses pencampuran menjadi lebih cepat karena proses titrasi asam dan basa berlangsung dalam pipa [3].

Penelitian mengenai *Inline Flash Mixing* telah dilakukan oleh Fadloli Luthfi mengenai perancangan *auto switch* PID pada CIPM (*Continuous Injection Pipe Mixing*) pada tahun 2010 [4]. Sedangkan, penerapan *Neural Network Controller* telah dilakukan oleh Hendra Cordova dengan mendesain pengereman ABS (*Antilock Braking Systems*) dengan jaringan syarat tiruan yang tidak memerlukan pembelajaran dinamika sistem dari *plant* sebagaimana JST digunakan pada umumnya [5].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun proses pengendalian titrasi asam lemah (CH_3COOH)-basa kuat (NaOH). Sedangkan tempat terjadinya reaksi digunakan *Inline Flash Mixing*. Kemudian sistem kendalinya akan digunakan aksi kendali *Neuro-Regulator* yang sebelumnya telah mengalami proses pembelajaran dikarenakan pada proses titrasi asam-basa akan menghasilkan sistem yang non-linier. uraian penelitian

II. URAIAN PENELITIAN

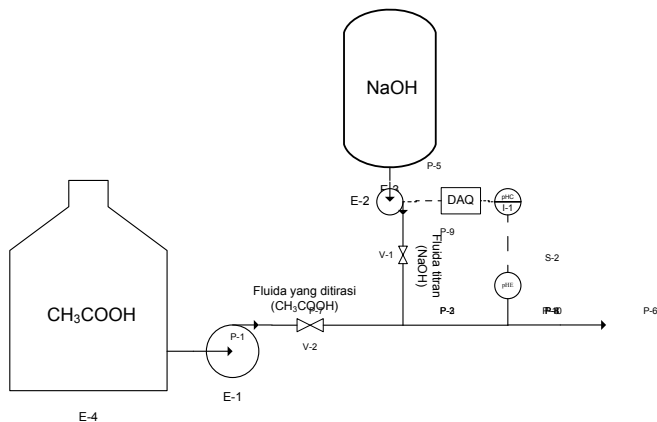
A. *Inline Flash Mixing*

Penelitian tugas akhir membuat *miniplant Inline Flash Mixing* netralisasi pH yang merujuk pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 03 Tahun 2010 dengan rentang pH 6 – 9. *plant* didesain dengan mencampur secara langsung larutan CH_3COOH 0,1 M yang mengalir dalam pipa ½ inchi dan secara langsung dititrasi oleh larutan NaOH 0,1 M. Panjang pipa total 110,5 cm dengan jarak pompa ke titik pencampuran 23 cm dan jarak titik pencampuran ke pH meter 87,5 cm. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 3.1 parameter proses berikut.

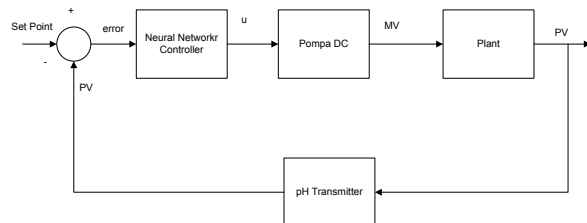
Di jalur pipa juga terdapat sembilan *static mixer* yang berguna untuk mencampurkan larutan asam dan basa. Gambar 1 adalah gambar plant *Inline Flash Mixing*. Gambar 2 menunjukkan diagram blok sistem pengendalian pH.

Tabel 1.
Parameter proses penelitian

No	Parameter	Besaran
1	Volume Tangki Asam	8,5 L
2	Volume Tangki Basa	8,5 L
3	Laju aliran asam	16,5 mL/s
4	Laju aliran Basa	0 – 20 mL/s
5	Molaritas CH ₃ COOH	0,1 M
6	Molaritas NaOH	0,1 M
7	Diameter pipa proses	½" (1,57 cm)



Gambar 1. P&ID Inline Flash Mixing



Gambar 2. Diagram blok sistem pengendalian pH

Laju aliran asam CH₃COOH 0,1M konstan sebesar 16,5 ml/s dan rentang laju aliran pompa basa NaOH 0,1 M sebesar 0-20 ml/s. Tangki asam dan basa memiliki kapasitas 8,5 L. Aliran campuran asam-basa mengalir keluar dan disensing langsung di pipa oleh pH Meter.

Pada diagram blok di atas, *neural-network controller* merupakan algoritma pengendali berbasis Jaringan Syaraf Tiruan dengan metode *Backpropagation*. JST ini telah dilatih untuk mendapatkan nilai bobot yang bisa ditanamkan pada *software* LabVIEW. Keluaran sinyal kontrol dari *Neuro-Regulator* sebesar 0 – 1,15 volt. Sinyal kontrol 0 – 1,15 volt ini akan *men-drive* pompa dc 12 volt dengan *motor driver*.

Pompa DC yang telah diberikan sinyal kontrol akan bekerja dengan mengeluarkan debit larutan basa kuat 0-20 ml/s dan laju aliran asam dijaga konstan sebesar 16,5 ml/s. pH hasil pencampuran asam-basa akan *disensing* oleh pH meter yang tertanam dalam pipa. Sinyal dari pH transmitter dikirim melalui serial kabel RS232 dan diolah dalam *software* LabVIEW.

Gambar 3 merupakan realisasi dari *miniplant inline flash mixing* dengan desain sedemikian rupa.



Gambar. 3. Miniplant Inline Flash Mixing

B. Penerapan Neural Network Controller

Konsep *controller* ini berbasis Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dengan metode *Backpropagation*. *Controller* ini menggunakan konsep dengan bertujuan menghasilkan target sinyal agar didapatkan performansi keluaran sistem yang diinginkan. Namun, pembelajaran JST tidak lagi memerlukan dinamika *plant* seperti penggunaan JST dalam *control system*. *Controller* mempelajari pola hubungan masukan berupa *error* dari aksi kendali yang sesuai[5]. Metode *Backpropagation* melatih jaringan dengan memiliki *layer* tersembunyi namun memiliki waktu yang lebih lama. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan keseimbangan antara kemampuan jaringan untuk mengenali pola selama pelatihan. Gambar 4 menjelaskan metode *backpropagation* yang terjadi di dalam sistem.

Terdapat tiga layer yang terdiri dari input, hidden layer, dan *output* (y_{pk}). Target berupa nilai tegangan pompa yang diinginkan dan selisih dari target dengan *output* sebesar δ_{pk} yang kemudian dipropagasi balik dengan mengubah bobot-bobot untuk mendapatkan bobot-bobot secara optimal dan MSE (*Mean Square Error*) terkecil

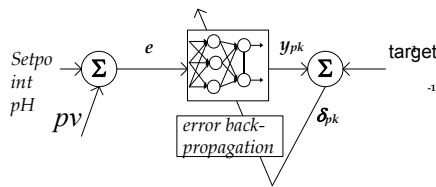
Model matematis dari *Neural-Network* didefinisikan pada Persamaan (1) dan (2) berikut:

$$z = \sum_j^n x_j v + b \quad (1)$$

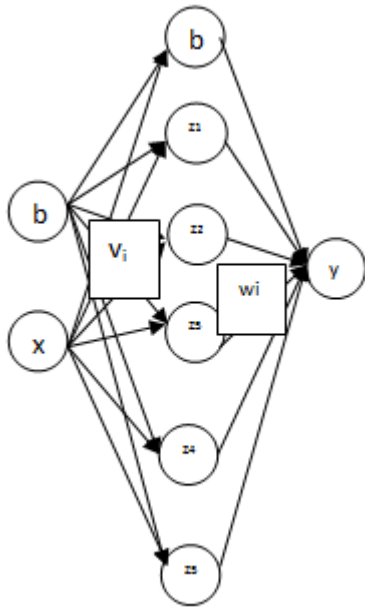
$$y = \sum_j^n z_j w + b \quad (2)$$

Dimana x merupakan vektor input, w merupakan bobot dari setiap koneksi jaringan, dan b merupakan bias. Fungsi aktivasi yang dipakai yaitu fungsi sigmoid biner yang memiliki rentang keluaran 0 hingga 1. Fungsi sigmoid biner dapat ditunjukkan pada Persamaan (3):

$$f(net_i) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (3)$$



Gambar. 4. Metode Backpropagation pada neural-network controller



Gambar. 5. Arsitektur neural-network

Pelatihan standar *Backpropagation* terdapat tiga fase, yaitu pertama propagasi maju. Selama propagasi maju, sinyal masukan diumpangkan ke *hidden layer* dengan menggunakan perhitungan matematis seperti pada Persamaan (1) dan (2) yang selanjutnya diumpangkan ke keluaran y . Pada fase ke-2 yaitu propagasi mundur, keluaran jaringan harus dibandingkan dengan target yang akan dicapai untuk mendapatkan faktor kesalahan δ_k seperti pada Persamaan (4).

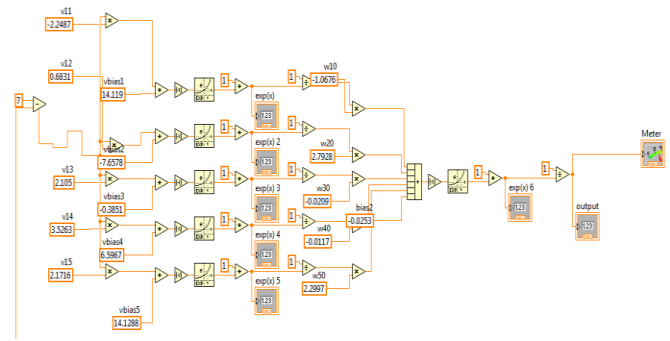
$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y_{net_k}) = (t_k - y_k) y_k (1 - y_k) \quad (4)$$

δ_k digunakan untuk menghitung perubahan bobot layar. Perhitungan suku bobot w_{kj} dengan laju percepatan α (*learning rate*). Kemudian pada fase perubahan bobot menghitung dihitung berdasarkan faktor δ neuron di *layer* atasnya.

Ketiga, fase akan *Backpropagation* terus menerus dilakukan hingga menemukan target kesalahan (*mean square error*) yang diinginkan sehingga bobot-bobot terakhir yang dipakai untuk tahap pengujian [6].

Pelatihan yang dilakukan Jaringan Syaraf Tiruan bertujuan untuk mencapai *Mean Square Error* (MSE) yang dituju dan menemukan bobot-bobot yang optimal. MSE didefinisikan sebagai berikut:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^M \delta_{pk}^2 \quad (5)$$



Gambar. 6. skema diagram blok neural network controller pada LabVIEW

Gambar 6 adalah diagram blok *neural network* pada *software* LabVIEW. Perancangan ini didasarkan pada jaringan *feedforward* tanpa propagasi balik.

Pada Gambar 6, skema *neural network controller* yang dibangun dengan satu masukan berupa *error* dan *bias*, lima *neuron hidden layer* dan satu keluaran dengan bobot-bobot yang telah dilatih secara *offline*. Blok *Function* yang dipakai yaitu operasi matematika sesuai rumus pada persamaan (7), (8), dan (9). Fungsi aktivasi menggunakan rumus *sigmoid biner* dengan rentang keluaran 0 – 1.

Penerapan *Neural Network Controller* dilakukan berdasarkan uji tegangan pompa yang menghasilkan debit aliran basa untuk didapatkan pH 7. Tegangan pompa dibangkitkan dari *software* LabVIEW 2009 dengan menambahkan *tool control* yang dihubungkan dengan DAQ Assistant NI-6009. Setelah didapatkan hubungan antara pH dan tegangan pompa DC sebagai target pelatihan, maka pelatihan secara *offline* dilakukan pada *software* MATLAB dengan *input* berupa *error* pH. Bobot hasil pelatihan kemudian dimasukkan pada program LabVIEW yang telah dibuat.

III. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

C. Hasil Kalibrasi pH Transmitter Lutron YK-2001 pH

Pembacaan alat ukur pH *Transmitter* Lutron YK-2001PH dengan memasukkan *probe* ke larutan *Buffer Solution* dengan nilai pH 4, 7, dan 10. Kalibrasi dilakukan dengan cara otomatis dan manual dan kemudian dilakukan pembacaan kembali. Hasil kemampuan pembacaan kembali dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 terdapat data standart deviasi dan ketidakpastian pengukuran. Nilai standart deviasi sebesar 0,0512 dari hasil pengukuran sebanyak sepuluh kali setiap masing-masing nilai pH. Ketidakpastian hasil pengukuran (UA1) didapatkan dari nilai standart deviasi dengan nilai sebesar 0.0048 dan ketidakpastian resolusi didapatkan dari spesifikasi alat pHmeter 0,01 sebesar 0,0028.

D. Pelatihan Neural Network Controller

Keluaran dari *Neural Network Controller* sebesar 0,767 volt. Hasil ini didapat dari penalaan terhadap sistem agar keluaran sistem pH sebesar 7. Keluaran 0,767 ini kemudian dikuatkan oleh *signal conditioning* sehingga mengeluarkan debit 14,727 ml/s.

Tabel 2
Ketidakpastian Kalibrasi

Tipe	Nilai
Standart Deviasi	0,0512
Ketidakpastian Hasil Pengukuran (UA1)	0,0048
Ketidakpastian resolusi (UA2)	0,0028

Tabel 3
Hubungan Tegangan – Debit Pompa

Keluaran JST (volt)	keluaran DAQ (volt)	Debit (mL/s)
0.2	0.23	1.351351351
0.3	0.345	5.434782609
0.4	0.46	7.692307692
0.5	0.575	10
0.6	0.69	12.5
0.7	0.805	13.88888889
0.8	0.92	16.02564103
0.9	1.035	16.66666667
1	1.15	19.84126984

Tabel 4
Pelatihan Pada Masing-Masing Pelatihan

	pH 6	pH 7	pH 11
Learning rate	8	8	8
Mean Square Error	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}
Iterasi	262	462	5896

Hasil *fitting* data pada Table 3 di atas didapat pada Persamaan (6) di bawah ini

$$y = 21.37x - 1.335 \quad (6)$$

dengan y merupakan debit pompa dan x merupakan keluaran uji eksperimental. Kemudian, nilai 0,767 itu digunakan sebagai target pelatihan Jaringan Syaraf Tiruan dengan metode *Backpropagation* dan masukan berupa error pH dengan rentang -5 – 5. Maka, didapat keluaran debit pompa pada target 0,767 yaitu 15,05 mL/s. Pelatihan menggunakan laju pemahaman (*learning rate*) sebesar 0,9, *Mean Square Error* (MSE) 10^{-5} , dan iterasi sebanyak 463 *epoch*. Hasil pelatihan mendapatkan bobot dan ditanamkan ke *software* LabVIEW. Bobot-bobot terlatih ini berguna sebagai “pengingat” untuk masukan berupa error dari nilai pH.

Hasil regresi pada pelatihan pH 7 menghasilkan rentang keluaran pelatihan sebesar 0,761 – 0,773 dengan target 0,767. Sementara itu, dilatih juga jaringan dengan konfigurasi yang sama untuk mendapatkan pH 6 dan 11. pH 6 dipilih karena untuk mengetahui respon dari pengendali dan pH 11 untuk mengetahui stabilitas respon sistem. pH 6 didapatkan target sebesar 0,62 volt dan didapatkan pelatihan sebanyak 262 *epoch*. Rentang keluaran pelatihan 0,606 – 0,624. Iterasi yang dibutuhkan pada pelatihan ini sebanyak 4644 *epoch*. Rentang keluaran yang dihasilkan yaitu 0,77 – 0,788.

Begitu juga pada setpoint pH 11 didapat target sebesar 0.83 dengan iterasi sebanyak 5896 *epoch*. Rentang keluaran sebesar 0,820 – 0,840.

E. Uji close loop

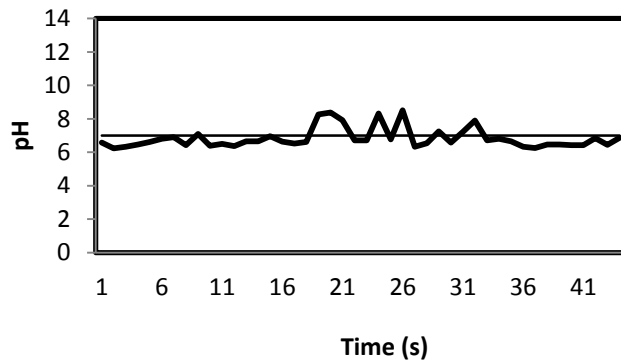
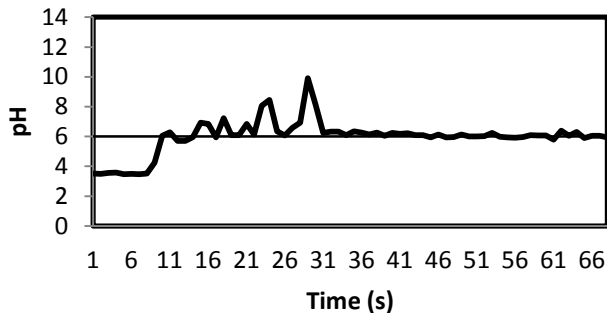
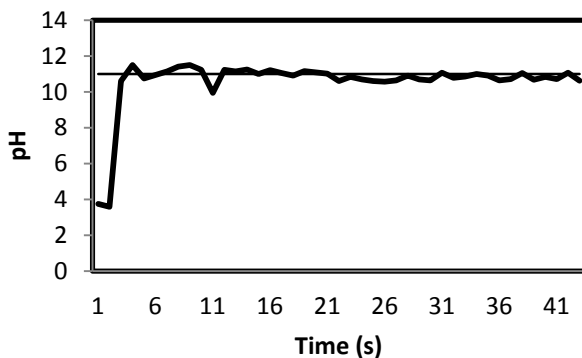
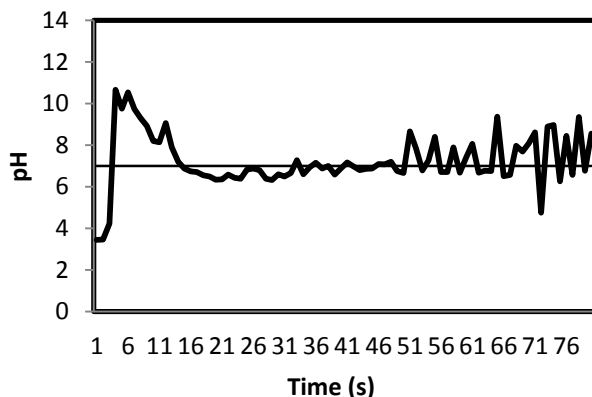
Pada uji *close loop* ini dilakukan dengan mengintegrasikan *Neuro-Regulator Controller* ke *miniplant Inline Flash Mixing*. Didapatkan respon yang masih dikatakan dalam rentang pH 6 – 9. Gambar 7 merupakan respon sistem dengan *setpoint* 7. Uji ini dilakukan selama 43 detik dengan menyalakan pompa asam secara konstan dan pompa basa yang dikendalikan oleh *Neuro-Regulator Controller* pada *software* LabVIEW. Pompa basa langsung bekerja dengan mengeluarkan debit.

Uji ini dilakukan selama 43 detik dengan menyalakan pompa asam secara konstan dan pompa basa yang dikendalikan oleh *Controller* pada *software* LabVIEW. Pompa basa langsung bekerja dengan mengeluarkan debit. Hasil dari Gambar 4.1 didapat M_p sebesar 19,7 % dan Ess sebesar 6,3%, T_s selama 33 detik. Penambahan sedikit basa oleh aktuator pada larutan asam di daerah pH 7 akan menyebabkan naiknya nilai pH secara signifikan. Hal ini berdasarkan kurva titrasi pada Gambar 8. sementara itu, keluaran sinyal *controller* yang berkisar antara 0,761 – 0,773 volt akan mempengaruhi debit pompa basa sehingga menyebabkan nilai pH naik turun sekitar 6,24 – 8,51. Percobaan dilakukan selama 66 detik. Berikut respon pH 6 :

Dapat diketahui berdasarkan kurva pada Gambar 9, respon yang dihasilkan memiliki *maximum overshoot* sebesar 4,67 %, *error steady state* (ess) sebesar 4,17%, dan *settling time* sebesar 31 detik. pH 6 respon stabil dengan mendekati set point. Error masih besar pada detik ke 6 hingga ke 11 maka *controller* mengeluarkan sinyal kontrol berdasarkan nilai *error* dan mencapai *maximum overshoot*. Namun, pada detik ke 13 hingga 30 pembacaan pH Transmitter menunjukkan ketidakstabilan dengan nilai pH yang mencapai 9,91. Hal ini dikarenakan *disturbance* pada pencampuran asam dan basa yang mendekati daerah linier dua yang penambahan satu ml akan merubah nilai pH secara signifikan dan pada detik ke 31, pH pencampuran stabil. Pada daerah ini cenderung mempertahankan nilai pH campuran dari aktuator yang mengalirkan larutan basa kuat ke dalam aliran asam. Hal ini bisa dilihat pada kurva titrasi asam lemah–basa kuat. Osilasi yang terjadi pada awal pencampuran disebabkan aktuator yang mengeluarkan aliran yang naik turun.

Uji selanjutnya yaitu *close loop* pH 11. Uji ini dilakukan dengan maksud mengetahui kestabilan plant pada *Inline Flash Mixing*. Berikut gambar respon dari pH 11.

Dari respon pada Gambar 10, *maximum overshoot* sebesar 4,45%, *error steady state* sebesar 1,83% dan *settling time* selama 12 detik. Uji *close loop* pH 11 relatif stabil dengan sedikitnya osilasi. Aktuator cenderung menerima sinyal kontrol dari *controller* dengan *error* yang dikoreksi relatif kecil. Hal ini dikarenakan daerah tiga yang jika penambahan basa menjadi *buffer* yang cenderung mempertahankan nilai pH apabila ditambahkan aliran basa dari aktuator.

Gambar. 7. Respon Sistem *close loop* pada pH 7Gambar. 8. Respon sistem *close loop* pada pH 6Gambar. 9. Respon uji *close loop* pH 11Gambar. 10. Uji *disturbance* pada pH 7

Uji *disturbance* dilakukan dengan maksud untuk mengetahui respon sistem ketika diuji secara *close loop*. *Disturbance* dilakukan dengan cara memberi larutan asam 0,1 M sebanyak 2 ml per 10 detik sekali ke dalam tangki basa pada target pH sebesar 7 dan laju aliran asam tidak diubah.

Peletakan pH Meter juga mempengaruhi pembacaan nilai pH. Terdapat empat kaki pada probe yang jika aliran menabrak celah antara kaki maka pembacaan oleh sensor pH tidak akan stabil dan menyebabkan *controller* mengeluarkan sinyal kontrol yang tidak beraturan. Peletakan sensor pH diharuskan dengan menghadapkan salah satu kaki probe agar aliran bertabrakan dengan kaki probe tersebut.

Secara keseluruhan respon dari sistem cukup baik berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 03 Tahun 2010 dengan batas pH 6 – 9.

IV. KESIMPULAN

Berikut kesimpulan dalam penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Penerapan Neuro Regulator Controller berhasil diterapkan pada miniplant Inline Flash Mixing
2. Hasil pelatihan untuk target pH 7 menghasilkan iterasi 339 *epoch*, MSE sebesar 10^{-5} dan regresi keluaran *neural network* dengan rentang 0,761 – 0,733. Pada pelatihan target pH 6 didapatkan lama iterasi sebanyak 262 *epoch* dengan regresi dalam rentang 0,606 – 0,624. Sedangkan pada pH 11, didapat lama iterasi sebanyak 4382 *epoch* dengan rentang regresi 0,778 – 0,788.
3. Uji *close loop* pada pH 6 menghasilkan *Maximum overshoot* (M_p) sebesar 4,67%, *error steady state* (E_{ss}) sebesar 2,29%, dan *Settling time* (T_s) sebesar 31 detik. Pada *set point* 7, M_p sebesar 19,7 %, E_{ss} sebesar 6,3%, dan T_s selama 33 detik. Pada *set point* 11 menghasilkan M_p sebesar 4,45%, E_{ss} sebesar 1,83%, dan T_s sebesar 12 detik.
4. Respon *settling time* berlangsung cepat dikarenakan pencampuran langsung terjadi pada aliran yang mengalir dalam pipa dan *controller* memberikan sinyal kontrol yang mengeluarkan *manipulated variable* yang langsung menuju *set point*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Asaad, "Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 03 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan Industri," Retrieved Juni 12, 2013, from Salinan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 03 (2010)
- [2] H. Cordova, A.F. Wijaya, "Self Tuning PID Neural Network Controller to Control Nonlinear pH Neutralization in Waste Water Treatment", *IPTEK, The Journal for Technology And Science*, (2007) 89.
- [3] J.Y. Choi, J. Lee, "In-line mixer for feedforward control and adaptive", *PERGAMON, Chemical Engineering Science* (1999), 1337-1339.
- [4] L. Fadloli, "Perancangan Sistem Pengendalian pH pada Continuos Pipe Mixing(CIPM) dengan Metode Pengendalian PID-Selftuning Berbasis Auto-Switch Algorithm," Tugas Akhir, ITS, Surabaya (2011).
- [5] H. Cordova, "Design of Antilock Braking Systems Using Neural Network Tracking Mode Controller", *Jurnal FTI*, (2005) 4-5.
- [6] J.J. Siang, "Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab", Jogyakarta: Penerbit Andi.